

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКИХ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВ В СИСТЕМЕ ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЯ

Ш. В. Бузиков

*ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»
(г. Киров, Российская Федерация)*

***Аннотация:** В статье представлен обзор применения жидких альтернативных топлив. Проведен теоретический анализ скорости течения жидких альтернативных топлив в чистом виде и в смеси с дизельным топливом в зависимости от давления, температуры и объема оказывающих влияние на плотность.*

***Ключевые слова:** альтернативное топливо; смесевое топливо; элементарный объем.*

INVESTIGATION OF THE FLOW OF LIQUID ALTERNATIVE FUELS IN THE DIESEL POWER SYSTEM

Sh. V. Buzikov

*Vyatka State University
(Kirov, Russian Federation)*

***Abstract:** The article presents an overview of the use of liquid alternative fuels. A theoretical analysis of the flow rate of liquid alternative fuels in pure form and in a mixture with diesel fuel, depending on the pressure, temperature and volume that affect the density, is carried out.*

***Keywords:** alternative fuel; mixed fuel; elemental volume.*

На данный момент применяемые в дизелях топлива – это жидкие альтернативные топлива такие как растительные масла, спирты и эфиры растительных масел [1, 2]. Одним из главных преимуществ их применения является уменьшенный выброс токсичных компонентов, содержащихся в отработавших газах по сравнению с традиционным топливом [3, 4].

Основные физико-химические свойства жидких альтернативных топлив в чём-то схожи с ДТ, однако они обладают высокой или низкой вязкостью, скрытой теплотой парообразования,

высокой температурой воспламенения, низким цетановым числом, меньшей теплотворной способностью [5, 6].

Также достаточно перспективно использование в качестве топлива всевозможных смесевых топлив, получаемых путём предварительного смешивания товарного дизельного топлива (ДТ) и альтернативного [6, 7].

На данный момент времени имеется достаточный объём исследований по определению течения жидких альтернативных топлив различных составов [8, 9]. В то же самое время, учёт динамического изменения некоторых физико-механических параметров в зависимости от давления и температуры альтернативных топлив и их смесей с традиционным практически отсутствуют. В связи с этим исследование течения тех или иных жидких альтернативных топлив, а также их смесей является на сегодняшний день весьма актуальной задачей.

Рассмотрим элементарный объём топлива dV , протекающий по топливопроводу. Принимаем ограничение, что изменения данного объёма происходят только вдоль оси топливопровода, радиальные изменения отсутствуют. Запишем уравнение Ньютона для рассматриваемого элемента жидкости:

$$dS dx \rho \partial_t v(x, t) = \Delta p dS, \quad (1)$$

где $\rho(x, t)$ – плотность элементарного объёма топлива dV , кг/м³;
 Δp – разность давлений на стенки элементарного объёма, Па;

dS – площадь стенки элементарного объёма топлива dV , м²;
 dx – перемещение площади стенки элементарного объёма топлива dV , м;

$\partial_t v$ – частный дифференциал скорости перемещения от времени, м/с;

Дополним уравнение (1) уравнением неразрывности:

$$dS dx \Delta \rho = dS dx \partial_t \rho \Delta t = \Delta(\rho v) dS \Delta t, \quad (2)$$

где $\Delta \rho$ – изменение плотности топлива, кг/м³;

$\partial_t \rho$ – частный дифференциал плотности от времени, кг/м³·с;

Δt – промежуток времени изменения, с;

$\Delta(\rho v)$ – разность произведения плотности топлива на скорость движения элементарного объёма, в начальный момент времени и конечный, кг/м²·с.

Данные уравнения (2) перепишем в дифференциальной форме:

$$\rho \partial_t v = -\partial_x p \quad (3)$$

$$\partial_t \rho = -\partial_x (\rho v) \quad (4)$$

Выражение (3) представляет собой часть уравнения Навье-Стокса, выражение (4) – уравнение неразрывности.

Выражение (3) примерно справедливо в пренебрежение вязкости и для очень малых скоростей.

Элементарный объём находится около состояния равновесия.

В равновесии:

$$\begin{cases} v_0 = 0 \\ \rho_0 = const \\ p_0 = const \end{cases}$$

Рассмотрим малые отклонения от равновесия, где ξ – безразмерный малый параметр, $\xi^2 \ll \xi \ll 1$:

$$\begin{cases} v = \xi \delta v \\ \rho = \rho_0 + \xi \delta \rho \\ p = p_0 + \xi \delta p \end{cases}$$

Принимаем условие что δv , $\delta \rho$ и δp – малые величины, одного порядка малости ξ . Подставляем это в выражения (4) и (5) и отбрасываем значения ξ^2 . Система уравнений будет выглядеть:

$$\rho_0 \partial_t \delta v = -\partial_x \delta p \quad (5)$$

$$\partial_t \delta \rho = -\rho_0 \partial_x (\delta v) \quad (6)$$

Считаем, что состояние элементарного объёма топлива известно, тогда можно заменить отношение малых величин на производную в состоянии равновесия:

$$\frac{\delta p}{\delta \rho} \cong \frac{\partial p}{\partial \rho}$$

Отсюда следует что:

$$\delta p = \frac{\partial p}{\partial \rho} \delta \rho$$

Производная одинакова во всех точках пространства и не меняется во времени.

Подставляя $\delta\rho$ вместо δp в выражения (5) и (6) получим:

$$\rho_0 \partial_t \delta v = - \frac{\partial p}{\partial \rho} \partial_x \delta \rho \quad (7)$$

$$\partial_t \delta \rho = - \rho_0 \partial_x (\delta v) \quad (8)$$

Величины второго порядка малости по малому параметру ξ исключены. Продифференцируем уравнение (7) по x , а уравнение (8) продифференцируем по t (применим ∂_t):

$$\rho_0 \partial_x \partial_t \delta v = - \frac{\partial p}{\partial \rho} \partial_x^2 \delta \rho$$

$$\partial_t^2 \delta \rho = - \rho_0 \partial_t \partial_x (\delta v)$$

В итоге левая часть одного уравнения с точностью до знака совпадает с правой частью второго. Приравнивая совпадающие выражения, исключаем скорость и получим волновое уравнение:

$$\partial_t^2 \delta \rho = \frac{\partial p}{\partial \rho} \partial_x^2 \delta \rho \quad (9)$$

Подставляя в него движущуюся со скоростью u волну плотности:

$$\delta \rho = f(x, u, t)$$

Получим:

$$u^2 = \frac{\partial p}{\partial \rho}.$$

Адиабатические колебания в топливопроводах проходят достаточно быстро что теплопередачей можно пренебречь, поэтому:

$$u = \sqrt{\left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right)_s}.$$

Переведем производную в выражении для скорости элементарного объёма топлива учитывая, что:

$$d\rho = \frac{dm}{dV},$$

где dm – масса элементарного объёма топлива, кг.

Тогда:

$$\frac{d}{d\rho} = - \frac{dV^2}{dm} \frac{d}{dV} = - \frac{dm}{\rho^2} \frac{d}{dV}.$$

Тогда:

$$\begin{aligned}
 u^2 &= \left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right)_s = - \frac{dV^2}{dm} \left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_s = - \frac{dV^2 \partial(p, S)}{dm \partial(V, S)} = \\
 &= - \frac{dV^2 \partial(p, S) \partial(p, T) \partial(V, T)}{dm \partial(p, T) \partial(V, T) \partial(V, S)} = - \frac{dV^2}{dm} \frac{C_p}{C_v} \left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_T = \\
 &= \frac{C_p}{C_v} \left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right)_T = \frac{C_p}{C_v} \frac{K_T}{\rho}
 \end{aligned} \tag{10}$$

Полученное выражение позволяет рассчитать скорость течения жидких альтернативных топлив и их смесей в топливопроводах с учётом влияния давления температуры и объёма на плотность топлива.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Плотников С. А., Бузиков Ш. В., Козлов И. С. Исследование работоспособности дизельной форсунки на смесевых топливах с недостаточными низкотемпературными свойствами // Тракторы и сельхозмашины. 2020. № 1. С. 10-16.
2. Бузиков Ш. В., Плотников С. А., Козлов И. С. Оптимизация добавки рапсового масла в смесевом топливе, применяемом в тракторных дизелях // Вестник транспорта Поволжья. 2020. № 5 (83). С. 72-77.
3. Бузиков Ш. В. Исследование процессов сжатия в двигателях внутреннего сгорания // В сб.: Общество. Наука. Инновации (НПК-2017). Всероссийская ежегодная научно-практическая конференция. Вятский государственный университет. 2017. С. 795-801.

REFERENCES

1. Plotnikov S. A., Buzikov Sh. V., Kozlov I. S. Issledovanie rabotosposobnosti dizel'noi forsunki na smesevykh toplivakh s nedostatocnymi nizkotemperaturnymi svoistvami [Investigation of the performance of a diesel injector on mixed fuels with insufficient low-temperature properties]. *Traktory i sel'khoz mashiny*, 2020, no. 1, pp. 10-16.
2. Buzikov Sh. V., Plotnikov S. A., Kozlov I. S. Optimizatsiia dobavki rapsovogo masla v smesevom toplive, primeniaemom v traktornykh dizeliakh [Optimization of rapeseed oil additives in mixed fuel used in tractor diesel engines]. *Vestnik transporta Povolzh'ia*, 2020, no. 5 (83), pp. 72-77.
3. Buzikov Sh. V. Issledovanie protsessov szhatiia v dvigateliakh vnutrennego sgoraniia [Investigation of compression processes in internal combus-

tion engines]. Obshchestvo. Nauka. Innovatsii (NPK-2017). Viatskii gosudarstvennyi universitet, 2017, pp. 795-801.

Об авторе:

Бузиков Шамиль Викторович, заведующий кафедрой машин и технологий деревообработки ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» (610000, Российская Федерация, Кировская область, г. Киров, ул. Московская, 36), кандидат технических наук, доцент, shamilvb@mail.ru.

About the author:

Shamil V. Buzikov, Head of the Department of Machinery and Woodworking Technologies, Vyatka State University (610000, Russian Federation, Kirov region, Moskovskaia, 36), Cand.Sc. (Engineering), associate professor, shamilvb@mail.ru.